

# コンクリート用骨材の簡易な耐凍害性評価手法

伊佐見和大\* 片平 博\*\* 渡辺博志\*\*\*

## 1. はじめに

骨材はコンクリートの主要な構成材料であり、コンクリートの耐凍害性を確保するうえで、骨材の品質は非常に重要である。そのため、骨材がコンクリートの耐凍害性に与える影響を評価する方法として、JIS A 1122「硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験方法」（以降、安定性試験と略す）が一般的に使用されている。しかし、安定性試験を実施するためには、特殊な試験装置が必要である。そこで、骨材がコンクリートの耐凍害性に与える影響を評価するための、より簡易で特別な装置を必要としない手法を実施し検討したので、その内容について報告する。

## 2. 安定性試験

### 2.1 試験方法の概要

安定性試験の手順は次に示す通りである。まず、各骨材を25-20mm、20-15mm、15-10mm、10-5mmの単粒径の各群にふるい分け、単粒径の各試料の質量 $m_1$ を測定する。次に、各試料を $20 \pm 2^\circ\text{C}$ の硫酸ナトリウム飽和水溶液の中に16~18時間浸漬して溶液から取り出し、各試料を1時間で $40 \pm 10^\circ\text{C}$ ずつ温度上昇させて $105 \pm 5^\circ\text{C}$ の状態に4~6時間乾燥させる、という1日1回のサイクルを5回繰り返す。その後、単粒径の各試料に対してふるいわけを行い、試験前に各試料がとどまったふるいに残る各試料の試験後の質量 $m_2$ を量る。それから、骨材の粒径ごとの損失質量百分率 $P_s$ (%)を次式により求める。

$$P_s = \left(1 - \frac{m_2}{m_1}\right) \times 100$$

このように求められた各粒径ごとの粗骨材の損失質量百分率 $P_s$ に対して、各骨材の各粒径の質量割合を掛け合わせて、各骨材の安定性を求める。

### 2.2 試験方法特有の課題

安定性試験の実施においては、各試料および試

薬を $20 \pm 2^\circ\text{C}$ の状態に保つ必要があり、さらに各試料を1時間で $40 \pm 10^\circ\text{C}$ ずつ温度上昇させて $105 \pm 5^\circ\text{C}$ で乾燥させる必要があるため、特別な装置が必要である。また、同一試料を用いて各試験機関で行った安定性試験結果において、試験機関による試験結果のばらつきが比較的大きい<sup>1)</sup>という報告もある。これらの課題を解決するために、骨材がコンクリートの耐凍害性に与える影響をより簡易に評価するための手法として、簡易な試験について検討した。

## 3. 簡易な試験方法の概要

現在、再生骨材を対象とした試験方法として、当チームから「再生骨材の簡易凍結融解試験法(案)」が提案されている<sup>2)</sup>。それは、再生骨材を水浸させて凍結融解を行うことで再生骨材がコンクリートの耐凍害性に与える影響を評価する試験法であるが、この方法をコンクリート用の砂利や碎石の場合にも準用することを試みた。この試験法においてはポリプロピレン(PP)製の容器を用いることから、本報告ではPP試験と呼ぶこととする。PP試験の手順は以下の通りである。

- 1) 水温が $20^\circ\text{C}$ 程度の水槽、槽内温度が $-18^\circ\text{C}$ 以下となる冷凍庫、容量1,000cc程度のポリプロピレン製容器を用意する。
- 2) 骨材試料を25-20mm、20-15mm、15-10mm、10-5mmの単粒径の各群にふるい分け、各試料の質量(約1kg)を測定する。
- 3) 各試料をそれぞれ容器に入れ、水または3%NaCl溶液(塩水)を満たす。なお、塩水の使用は、凍結融解の際に浸透圧等の効果により骨材に加わる圧力が増加することを期待したため<sup>3)</sup>である。(以降、水ならびに塩水を使用したPP試験をそれぞれ「水のPP試験」「塩水のPP試験」と称す)
- 4) 容器を密閉し、中の水分が完全に凍結するまで、約16時間、容器を冷凍庫に入れる。
- 5) 容器を冷凍庫から取り出し、中の氷が完全に融解するまで、容器を約8時間水槽内に置く。

- 6) 4)、5)の過程を所定の回数繰り返した後、容器から試料を取り出す。(以降、この繰り返し回数を「凍結融解回数」と称する。)
- 7) 各試料に対してふるいわけを行い、試験前に試料がとどまったふるいに残る試験後の試料の質量を測定する。
- 8) 安定性試験と同様に、各群の骨材の損失質量百分率を求める。
- 9) 各骨材の各粒径ごとの損失質量百分率に対して、各粒径の質量割合を掛け合わせることで、各骨材の損失質量百分率(以降、PP値と略す)を求める。

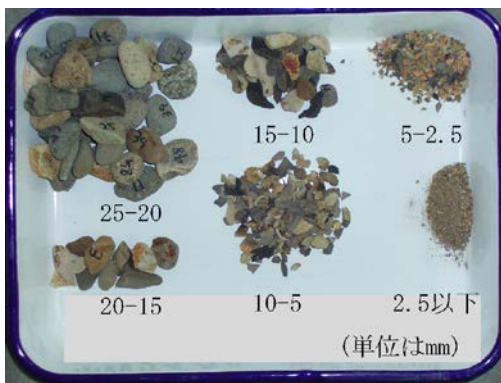


写真-1 PP試験による粗骨材(25-20mm)の細粒化の例

なお、写真-1は25-20mmの粗骨材試料に対し、水のPP試験で30回の凍結融解作用を与えた後の状況を示したものである。破碎されて粒径が小さくなったものが認められ、その分25-20mmにとどまる量が減少している。

## 4. 実験方法

### 4.1 実験の対象とした粗骨材

実験に使用した粗骨材は、表-1に示す24種類の粒径25-5mmの比較的低品質な天然粗骨材である。

表-1 使用骨材の種類

骨材種別	吸水率 (%)	骨材種別	吸水率 (%)	骨材種別	吸水率 (%)
砕石安山岩A	1.66	砕石凝灰岩I	2.45	川砂利Q	2.67
砕石安山岩B	2.67	砕石凝灰岩J	7.17	川砂利R	2.86
砕石安山岩C	2.74	砕石砂岩K	3.33	川砂利S	3.22
砕石安山岩D	4.30	砕石砂岩L	4.96	川砂利T	3.72
砕石安山岩E	4.38	砕石頁岩M	1.54	川砂利U	3.78
砕石安山岩F	5.58	川砂利N	1.05	川砂利V	3.98
砕石安山岩G	6.43	川砂利O	1.90	川砂利W	4.21
砕石安山岩H	6.53	川砂利P	2.63	川砂利X	4.39

### 4.2 コンクリートの凍結融解試験

骨材がコンクリートの耐凍害性に与える影響を評価するために、下記の方法で、コンクリートの供試体を作製し、JIS A 1148 A法により凍結融解

試験を実施した。

はじめに、表-1の24種類の粗骨材を用いて、粗骨材最大寸法25mm、水セメント比55%、細骨材率46%、目標空気量4.5% (実測値3.7~5.2%)、目標スランプ8cm (実測値3.5~8.0cm) の条件で、それぞれコンクリートを練り混ぜた。ここで、細骨材には良質な川砂を使用し、セメントには普通ポルトランドセメント、混和剤にはAE減水剤およびAE助剤を使用した。次に、練り混ぜた各フレッシュコンクリートを用いて、100×100×400mmの角柱供試体を作製し、打設の翌日に脱型したあと、材齢28日まで水中養生を行った。その後、「コンクリートの凍結融解試験方法」(JIS A 1148 [A法]) を実施し、コンクリートの耐凍害性を評価した。この凍結融解試験法は、専用の試験槽を用いて、供試体中心部の温度が+5℃~-18℃の間を変化するように、供試体外部から温度変化を急速に与える促進試験法であり、1サイクル4時間の凍結融解サイクルを300サイクル行い、供試体の動弾性係数の低下量から耐凍害性の指標となる耐久性指数を求める試験法である。

### 4.3 骨材の品質試験

各骨材に対して、以下に述べる各物性値と、耐久性指数の対応を検討した。

#### (1) 安定性試験

2.で述べたJIS A 1122「硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験方法」について実施した。

#### (2) PP試験

3.で述べたPP試験について、表-2のように条件を変えて実験を実施した。

表-2 PP試験における条件

凍結融解回数	水			塩水	
	10回	20回	30回	5回	10回

## 5. 実験結果

### 5.1 PP試験における凍結融解回数の評価

図-1に水のPP試験における凍結融解回数とPP値の関係を示す。ここでは砕石と砂利とを分けてグラフに示した。図より、砕石の場合、凍結融解回数を増やすと、PP値の増え方がゆるやかになる傾向が得られた。一方、砂利の場合は凍結融解回数を増やすと、PP値の増え方がゆるやかになる骨材と、増え方が加速する傾向にある骨材

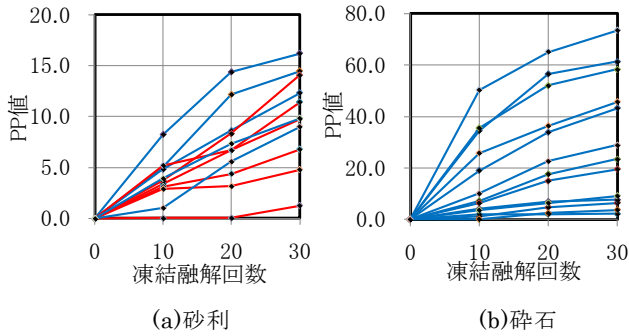


図-1 凍結融解回数とPP値の関係（水のPP試験）

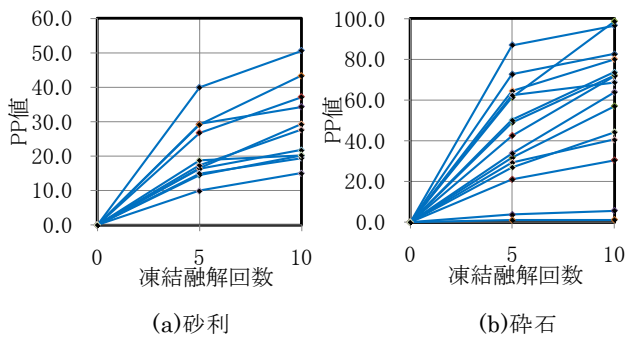


図-2 凍結融解回数とPP値の関係（塩水のPP試験）



(a) 砂利の割れの例 (b) 砕石の割れの例

写真-2 PP試験において途中まで破損した骨材が見られた。写真-2に、PP試験で途中まで破損した砂利および砕石の一例を示す。砂利、砕石ともに骨材表面から内部にひび割れが進行しているが、砕石の場合、枝分かれしたひび割れや表面が削られる等、骨材粒内が全域的に破損し、その破損部分が損失として計測される傾向が多く見られる。他方、砂利では少数のひび割れが骨材内部を貫通するまで損失として計測されない場合がある。このため、骨材内部に進行する劣化を反映させるためには、図-1の結果から少なくとも30回程度の凍結融解回数を要すると考えられる。

次に、図-2に塩水のPP試験での凍結融解回数とPP値の関係を示す。凍結融解回数を5回から10回に増やすと、砕石、砂利によらず、PP値の増え方がゆるやかになったため、凍結融解回数が5回であっても、骨材に十分損傷が生じたことが分かった。これは、塩水の使用で凍結融解時に骨材に加わる圧力が増えたためであると考えられる。

## 5.2 PP値と安定性との関係

水のPP試験において、凍結融解回数を30回と

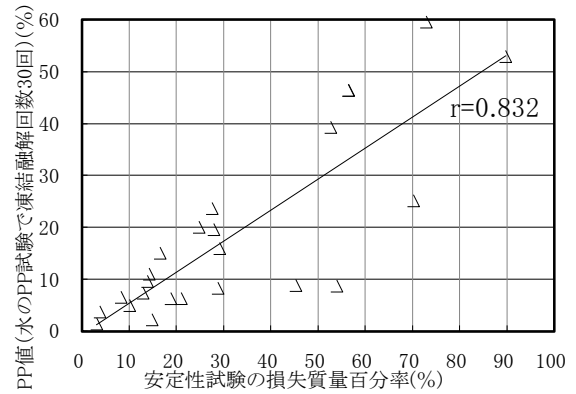


図-3 PP値（水、凍結融解回数30回）と安定性の関係

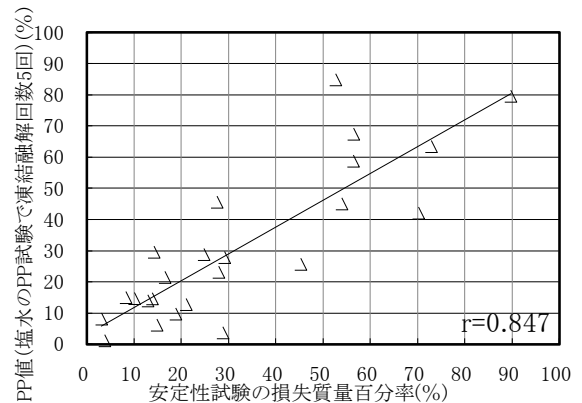


図-4 PP値（塩水、凍結融解回数5回）と安定性の関係した場合のPP値と、安定性との関係を図-3に示す。図-3より、PP値と安定性との間に相関がみられた（相関係数0.832）。これより、凍結融解回数を30回とした水のPP試験は、安定性試験と類似した結果となることが示された。

次に、塩水のPP試験において、凍結融解回数を5回とした場合のPP値と、安定性との関係を図-4に示す。図-4より、塩水のPP試験も水のPP試験と同様に、PP値と安定性の間に相関が見られた（相関係数0.847）。以上より、凍結融解回数を30回とした水のPP試験や、凍結融解回数を5回とした塩水のPP試験によって、骨材がコンクリートの耐凍害性に与える影響を、安定性試験と同程度評価できる可能性のあることが確認できた。

## 5.3 コンクリートの耐久性指数との対応

図-5に耐久性指数と水のPP試験において凍結融解回数を30回とした場合のPP値との関係を示す。また、図-6には耐久性指数と塩水のPP試験において凍結融解回数を5回とした場合のPP値との関係を示す。さらに、比較評価のため、図-7に耐久性指数と安定性の関係を示す。図-5～7より、各々の試験結果はいずれも、砕石と砂利で異なる傾向を示したが、砕石および砂利を分けた場合、

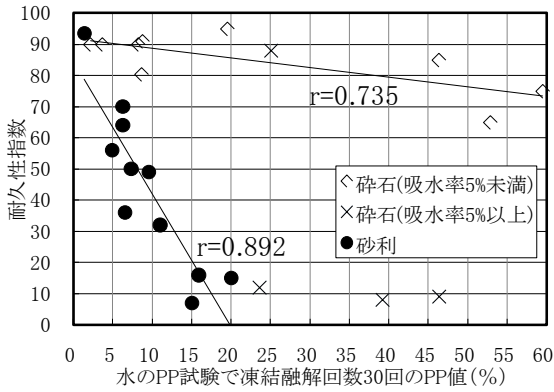


図-5 PP値(水、凍結融解回数30回)と耐久性指数の関係

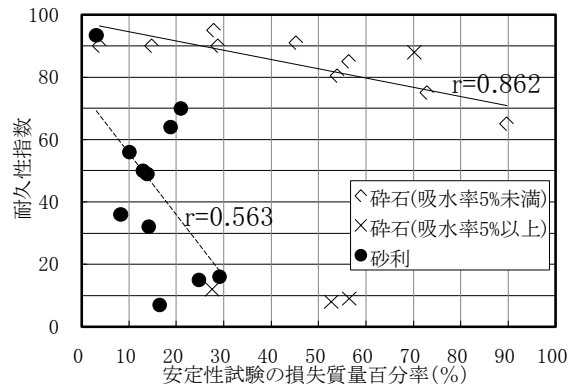


図-7 安定性と耐久性指数の関係

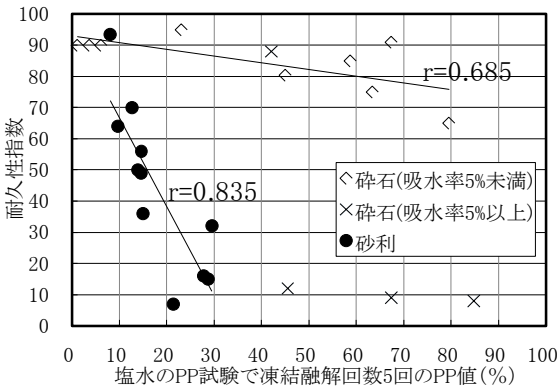


図-6 PP値(塩水、凍結融解回数5回)と耐久性指数の関係  
 水のPP試験ならびに塩水のPP試験では、耐久性指数との間に、安定性試験と同程度以上の相関性が見られた。特に砂利の場合、水のPP試験および塩水のPP試験において耐久性指数との相関関係が安定性試験と比較して高くなった。

これらの結果より、PP試験は安定性試験に代わる簡易試験法となりうる可能性が示された。

## 6. まとめと今後の課題

今回の実験の範囲では以下のようなことが分かった。

- (1) 水のPP試験では凍結融解回数は30回程度必要であること、塩水のPP試験では凍結融解回数が5回程度で十分であることが分かった。
- (2) PP値ならびに安定性と耐久性指数の関係は砕

石と砂利で大きく異なった。

- (3) 水のPP試験および塩水のPP試験において、安定性試験との間に相関性がみられた。
- (4) 水のPP試験ならびに塩水のPP試験と耐久性指数との間には、安定性試験と耐久性指数との相関関係と同程度以上の相関がみられた。特に砂利の場合、水のPP試験ならびに塩水のPP試験と耐久性指数の相関は、安定性試験と耐久性指数との相関と比較すると、向上した。

今後は、さらに骨材の種類を増やして、PP試験の検討を実施していく予定である。

## 謝辞

なお、実験の実施にあたっては長岡技術大学からの実習生である村中誠氏の協力を得た。ここに感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 阿部道彦ら：骨材の低品質化とコンクリートの性質に関する研究動向、骨材の品質と有効利用に関するシンポジウム論文集、日本コンクリート工学協会、pp.29～36、2005
- 2) 片平博、渡辺博志：再生骨材の耐凍害性評価手法の研究、コンクリート工学論文集、第21巻、第1号、pp.25～33、2010
- 3) 片平博、青山尚、渡辺博志：冷凍庫を用いた骨材の簡易凍結融解試験方法に関する基礎的研究、コンクリートの凍結融解抵抗性の評価方法に関するシンポジウム論文集、pp.299～304、2008

伊佐見和夫\*



独立行政法人土木研究所つくば  
 中央研究所材料地盤研究グループ  
 基礎材料チーム 研究員  
 Kazuhiro ISAMI

片平 博\*\*



独立行政法人土木研究所つくば  
 中央研究所材料地盤研究グループ  
 基礎材料チーム 主任研究員  
 Hiroshi KATAHIRA

渡辺博志\*\*\*



独立行政法人土木研究所つくば  
 中央研究所材料地盤研究グループ  
 基礎材料チーム 首席研究員、工博  
 Dr. Hiroshi WATANABE